

GEÄNDERTE ANSPRÜCHE

[beim Internationalen Büro am 23. Februar 2005 (23.02.05) eingegangen;
ursprüngliche Ansprüche 1-22 durch neue Ansprüche 1-22 ersetzt (7 Seiten)]

Patentansprüche**Verfahren und Schaltungsanordnung zur zerstörungsfreien Prüfung von Gegenständen mittels Ultraschallwellen**

1. Verfahren zur Verarbeitung von Signalen, die bei der zerstörungsfreien Prüfung von Gegenständen (12, 24) wie Rohren oder Blechen durch Reflexion von Ultraschallwellen an Fehlstellen (20, AF) der Struktur des Gegenstandes (12, 24) erzeugt werden, umfassend die Verfahrensschritte:

- Aussenden einer kompletten Wellenfront auf zumindest einen zu prüfenden Abschnitt des Gegenstandes (12, 24) mittels einer Vielzahl unabhängiger Sendeelemente (EL1 – ELN),
- Empfangen einer von der Struktur des Gegenstandes reflektierten Welle mittels einer Vielzahl voneinander unabhängiger Empfangselemente (EL1 – ELN),
- Digitalisieren der von den Empfangselementen (EL1 – ELN) empfangenen Signalen,
- Speichern der digitalisierten Signale nach Amplitude und Laufzeit in einem Speicherelement (SP),

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

dass die Fehlstellen (20) durch eine phasenstarre Addition der gespeicherten Amplitudenwerte längs einer Laufzeit erkannt werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

dass zur Erkennung eines auf einer äußeren dem Prüfkopf (14, 26, 28) zugewandten Oberfläche (56) des Gegenstandes (12, 24) liegenden Fehlstelle (Außenfehler) (20, AF) die von der Fehlstelle (20, AF) ausgehenden Punktwellensignale ausgewertet werden.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Erkennung der auf der äußeren, d. h. dem Prüfkopf (14, 26, 28) zugewandten Oberfläche (56) des Gegenstandes (12, 24), liegenden Fehlstelle (AF) durch eine Addition derjenigen in dem Speicherbaustein (SP) hinterlegten Amplitudenwerte erfolgt, welche von dem Außenfehler (AF) ausgehenden Punktwellensignale abgeleitet werden.
4. Verfahren nach Anspruch 3,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Addition senkrecht oder im Wesentlichen Senkrecht zu Interferenzmustern der empfangenen Amplitudenwerte der Punktwellen der Außenfehler (AF) verläuft.
5. Verfahren nach Anspruch 4,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Erkennung der Außenfehler (AF) durch Vergleich des bei der phasenstarken Addition der gespeicherten Amplitudenwerte längs einer Laufzeit ermittelten Summensignals mit dem bei der Addition der Amplitudenwerte der Interferenzmuster ermittelten Summensignal erfolgt, wobei ein Außenfehler (AF) vorliegt, wenn beide Summensignale eine Fehlstelle anzeigen (Koinzidenzverfahren).
6. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass die einzelnen Sendeelemente (EL1 – ELN) zur Einstellung eines an die Messbedingungen wie Fehlerart, Fehlergröße, Materialart, Materialform angepassten Einstrahlwinkels α zeitverzögert angesteuert werden (phasing).

7. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass zur Bestimmung des Fehlerortes eine laufzeitabhängige Amplitudenkorrektur des bei der Addition ermittelten Summensignals durchgeführt wird.
8. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass die empfangenen Signale nach ihrer Digitalisierung zur Dateneduktion gefiltert, vorzugsweise wavelet-gefiltert werden.
9. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Kontur einer Oberfläche (68, 70) des zu prüfenden Gegenstandes (12, 24, 66) erfasst und abgespeichert wird,
dass die unabhängigen Sendeelemente (EL1 – ELN) derart zeitverzögert angesteuert werden, dass die ausgehende Wellenfront (74) parallel oder in etwa parallel zu der Kontur der Oberfläche (68, 70) des Gegenstandes (66) verläuft und
dass die von dem Gegenstand (66) reflektierten Wellen zeitverzögert empfangen werden und ein im Wesentlichen planares Interferenzmuster (76) erzeugen.
10. Verfahren zur zerstörungsfreien Prüfung einer Kontur eines Gegenstandes (12, 24, 66) durch Verarbeitung von Signalwellen, die durch Reflexion von Ultraschallwellen an Fehlstellen (20, AF) der Struktur des Gegenstandes (12, 24) erzeugt werden, umfassend die Verfahrensschritte:
 - Aussenden einer kompletten Wellenfront auf die zumindest eine zu prüfende Kontur des Gegenstandes (12, 24, 66) mittels einer Vielzahl unabhängiger Sendeelemente (EL1 – ELN),
 - Empfangen einer von der Struktur des Gegenstandes reflektierten Welle mittels einer Vielzahl voneinander unabhängiger Empfangselemente (EL1 – ELN),

- Digitalisieren der von den Empfangselementen (EL1 – ELN) empfangenen Signalen,
- Speichern der digitalisierten Signale nach Amplitude und Laufzeit in einem Speicherelement (SP),

dadurch gekennzeichnet,

dass die Kontur einer Oberfläche (68, 70) des zu prüfenden Gegenstandes (12, 24, 66) erfasst und abgespeichert wird,

dass die unabhängigen Sendeelemente (EL1 – ELN) derart zeitverzögert angesteuert werden, dass die ausgehende Wellenfront (74) parallel oder in etwa parallel zu der Kontur der Oberfläche (68, 70) des Gegenstandes (66) verläuft und dass die von dem Gegenstand (66) reflektierten Wellen zeitverzögert empfangen werden und ein im Wesentlichen planares Interferenzmuster (76) erzeugen.

11. Verfahren nach Anspruch 10,

dadurch gekennzeichnet,

dass die Kontur des Gegenstandes (66) ermittelt wird, indem eine beispielsweise planare Wellenfront (64) auf die zu prüfende Kontur ausgesendet wird,

dass die von der Kontur des Gegenstandes (66) reflektierten Wellen mittels der Vielzahl voneinander unabhängigen Empfangselemente (EL1 – ELN) empfangen, digitalisiert und die digitalisierten Signale zumindest nach Laufzeit in dem Speicherelement (SP) gespeichert werden,

dass aus einem definierten Abstand (A) des Prüfkopfes zum Gegenstand (66) und den unterschiedlichen Laufzeiten der empfangenen Signale die Kontur des Gegenstandes berechnet wird.

12. Verfahren nach zumindest einem der Ansprüche 9 bis 11,

dadurch gekennzeichnet,

dass ein aus den empfangenen Signalen ermitteltes Interferenzmuster (76) mit einem Sollmuster verglichen wird und dass bei einer Abweichung von dem Sollmuster eine erneute Konturmessung erfolgt.

13. Verfahren nach zumindest einem der Ansprüche 9 bis 12,
dadurch gekennzeichnet,
dass eine Nachbestimmung der Kontur des zu prüfenden Gegenstandes während eines Messvorgangs erfolgt.
14. Verfahren nach zumindest einem der Ansprüche 9 bis 13,
dadurch gekennzeichnet,
dass die parallel oder im Wesentlichen parallel zu der Kontur des zu prüfenden Gegenstandes (66) verlaufende Wellenfront (74) durch zeitverzögertes Aussenden von Schallimpulsen erzeugt wird.
15. Verfahren nach zumindest einem der Ansprüche 9 bis 14,
dadurch gekennzeichnet,
dass das empfangene planare Interferenzmuster (76) durch zeitversetztes Ansteuern der voneinander unabhängigen Empfangselemente (EL1 – ELN) in Abhängigkeit von den in dem Speicher hinterlegten Konturwerten empfangen werden.
16. Schaltungsanordnung (22) zur Verarbeitung von Signalen, die bei der zerstörungsfreien Prüfung von Gegenständen wie Rohren, Blechen durch Reflexion von Ultraschallwellen an Fehlstellen der Struktur des Gegenstandes erzeugt werden, umfassend eine Signalerfassungseinheit (38) mit einem Pulserzeuger (PE) zum Ansteuern von Sende-/Empfangselemente (EL1 – ELN) zur Aussendung einer kompletten Wellenfront und zur Umschaltung der Sende-/Empfangselemente (EL1 - EL2) auf Empfang, wobei ein Multiplexer (MUX) vorgesehen ist, über den an dem Empfangselementen anliegende Analogsignale A/D-Wandlern (AD1 – ADN) zuleitbar sind, deren Ausgänge mit einem Speicherelement (SP) zur Speicherung digitalisierter Signale verbunden sind,
dadurch gekennzeichnet,
dass die digitalisierten Signale in dem Speicherelement (SP) bezüglich ihrer Signalamplitude und Laufzeit gespeichert sind und dass dem Speicherelement (SP) ein Summierelement (SUM) zur phasenstarren Addition der in dem Spei-

cherelement (SP) hinterlegten Amplitudenwerte nachgeschaltet ist und dass an einem Ausgang der Summenschaltung (SUM) ein bezüglich der Fehlstelle (20) auswertbares Signal anliegt.

17. Schaltungsanordnung nach Anspruch 16,
dadurch gekennzeichnet,
dass der Ausgang des Summierelementes (SUM) vorzugsweise über ein Interface I mit einer Auswerteschaltung (46) verbunden ist, in der ein Ausgang des Summierelementes (SUM) mit einer Signalverarbeitungsschaltung (46) verbunden ist, welches ein oder mehrere Auswertebausteine (F1, F2) zur weiteren Bewertung und Auswertung des am Ausgang des Summierelementes (SUM) anliegenden Signals aufweist.
18. Schaltungsanordnung nach Anspruch 16 oder 17,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Auswertebausteine (F1, F2) eine Koinzidenzschaltung zum Vergleich der Summensignale bei phasenstarrer Addition der Amplitudenwerte längs einer Laufzeit mit den Summensignalen bei Addition der Amplitudenwerte der Punktwellensignale von Außenfehlern aufweist.
19. Schaltungsanordnung nach Anspruch 16 bis 18,
dadurch gekennzeichnet,
dass der Prüfkopf (14, 26, 28) als Phased Array Transducer ausgebildet ist.
20. Schaltungsanordnung nach Anspruch 16 bis 19,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Sende-/Empfangselemente (EL1 – ELN) gleichzeitig oder phasenverschoben (phasing) ansteuerbar sind

21. Schaltungsanordnung nach Anspruch 16 bis 20,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Sende-/Empfangselemente (EL1 – ELN) als eine Einheit ausgebildet sind.
22. Schaltungsanordnung nach Anspruch 16 bis 19,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Sendeelemente und Empfangselemente als getrennte Einheiten ausgebildet sind.

Beschreibung

Verfahren und Schaltungsanordnung zur zerstörungsfreien Prüfung von Gegenständen mittels Ultraschallwellen

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Verarbeitung von Signalen gemäß den Merkmalen des Oberbegriffes des Anspruchs 1 sowie auf eine Schaltungsanordnung mit Merkmalen des Oberbegriffes des Anspruchs 16.

Ein Verfahren zur Verarbeitung von Signalen, die reflektierten Wellen entsprechen, die von einer Struktur übertragen oder gebrochen wurden, um eine Erkundung und Analyse der Struktur dieses Materials vornehmen zu können, ist in der EP 0 825 453 B1 beschrieben. Bei dem beschriebenen Verfahren wird ausgenutzt, dass jeder Punkt eines zu überprüfenden Gegenstandes zu einer reflektierten Welle führt, die sodann an Positionen der Speicher gespeichert wird, die in Form von Parabelbögen verteilt sind, deren Charakteristiken von der Entfernung des Punktes zur Sonde und vom Strahlungsdiagramm jedes Elementes abhängen. Bei dem bekannten Verfahren wird ein Prüfkopf verwendet, der linear ausgebildet ist und sich aus einer Mehrzahl von Sendempfangselementen mit geringen Abmessungen zusammensetzt. Der gleiche Prüfkopf wird dabei zum Senden und Empfangen verwendet. Zunächst wird eine Wellenfront in den zu prüfenden Gegenstand abgesendet und diejenigen Wellen empfangen, die von der Struktur reflektiert werden.

Anschließend erfolgt eine Digitalisierung und Speicherung der Information, die von den Sensorelementen abgegeben werden, und zwar in einem Speicherelement, welches für jedes Sensorelement eine Zeile aufweist.

BESTÄTIGUNGSKOPIE

Anschließend erfolgt eine Rekonstruktion und/oder Analyse der Struktur des Gegenstandes anhand der Informationen, die in den Speicherelementen abgelegt wurden. Dabei wird für jeden Punkt des Gegenstandes die Position des Speicherelementes berechnet, die die Signale enthalten, die von den Sensorelementen geortet worden sind und den Wellen entsprechen, die von diesem Punkt reflektiert oder übertragen worden sind. Diese Position wird mit Hilfe eines Adressierungsgesetzes berechnet, dessen Parameter von der Position dieses Punktes im Verhältnis zu den Sensorelementen abhängen. Ferner werden für jeden Punkt die Zeilen des Feldspeichers an den jeweiligen Positionen gelesen, die zuvor für diesen Punkt berechnet worden sind, wobei auf die für diesen Punkt gelesenen Werte eine mathematische Operation angewendet wird, um ein Ergebnis zu erhalten, das für den Umfang der Welle repräsentativ ist. Für die Berechnung werden alle Zellen des Speicherfeldes parallel für diesen Punkt an den Positionen gelesen, die für diesen Punkt in den jeweiligen zugeordneten Adressierungsspeichern angegeben sind.

Da die Berechnung jedes Lesegesetzes zum Auslesen des Speichers zu lange dauern würde, um dies in Echtzeit auszuführen, erfolgt diese Berechnung im Voraus und die Ergebnisse werden in spezifischen „Adressenspeichern“ gespeichert, die jeder Zeile des „Feldspeichers“ zugeordnet sind.

Daraus folgt, dass das beschriebene Verfahren nur zur Erkennung bestimmter, d. h. vorher definierter Strukturen geeignet ist. Der Inhalt des Feldspeichers wird nach Ausführung der mathematischen Operation in einen Bildspeicher hinterlegt, wobei Orts- und Laufzeitinformationen berücksichtigt werden. Bei dem Verfahren werden berechnete B-Bilder ausgewertet, wie dies beispielsweise in der medizinischen Diagnostik üblich ist. Für die automatische Werkstoffprüfung sollten B-Bilder jedoch nicht herangezogen werden, da für die Auswertung lange Auswertezeiten benötigt werden.

Des Weiteren ist zu bemerken, dass bei senkrechter Einschallung Einschränkungen in der Fehlerdetektion gegeben sind, da nur eine Fehlerlage erkennbar ist. Ferner treten Unsicherheiten in der Fehlerauswertung auf, da feste geometrische Beziehungen zwischen dem Prüfkopf und dem Prüfling vorausgesetzt werden, da Ortsinformationen bei

der Fehlerbestimmung notwendig sind. Daher ist das bekannte Verfahren gegen übliche Dejustagen des Prüfkopfes sehr empfindlich.

Davon ausgehend liegt der vorliegenden Erfindung das Problem zugrunde, ein Verfahren und eine Schaltungsanordnung der bekannten Art dahingehend weiterzubilden, dass Fehlstellen der Struktur eines Gegenstandes bei hoher Geschwindigkeit und einem verbesserten Signal-/Rauschverhältnis erfasst werden können. Ferner soll das Verfahren gegen mögliche Dejustagen des Prüfkopfes unempfindlich sein.

Das Verfahren wird erfindungsgemäß u. a. durch die kennzeichnenden Merkmale des Anspruchs 1 gelöst.

Dabei ist vorgesehen, dass eine Fehlstelle durch ein phasenstarres Addieren der zu gleichen Laufzeiten empfangenen gespeicherten Amplitudenwerte ermittelt wird. Hierbei wird ausgenutzt, dass bei Bestrahlung eines Gegenstandes mittels eines als Phased Array Transducer ausgebildeten Prüfkopfes, d. h. bei Absendung einer kompletten Wellenfront, Echos in jedem der gleichzeitig auf Empfang geschalteten Empfangselemente des Prüfkopfes empfangen werden, wobei die Amplitudenwerte der empfangenen Echos zu denselben Laufzeiten empfangen werden. Hierdurch eröffnet sich die Möglichkeit, die Amplitudenwerte der empfangenen Signale längs einer Laufzeit zu addieren, mit dem Vorteil, dass die die Fehlstelle in der Struktur kennzeichnenden Amplitudenmaxima verstärkt und sich die weiteren durch die einzelnen Empfangselemente empfangenen Signale gegenseitig nahezu aufheben.

Dadurch zeichnet sich das erfindungsgemäße Verfahren einerseits durch eine sehr hohe Geschwindigkeit der Fehlererkennung aus, da aufgrund der Aussendung einer kompletten Wellenfront die aus dem Stand der Technik übliche sequenzielle Methode vermieden wird und andererseits ein gegenüber dem Stand der Technik verbessertes Signalrauschverhältnis erreicht wird. Das Verfahren ist auch robust gegen beispielsweise eine Dejustage des Prüfkopfes, da Ortsinformationen nicht in das Verfahren einfließen.

Zur Erkennung von auf einer äußeren Oberfläche des Gegenstandes liegenden Fehlstellen (Außenfehler), insbesondere bei der zerstörungsfreien Prüfung von Rohren mittels Ultraschall, erfolgt eine Auswertung von Punktwellensignalen, welche von Reflexionen an Außenfehlern des Gegenstandes ausgehen. Dabei erfolgt eine Addition der in dem Speicher hinterlegten Amplitudenwerte nicht längs ein und derselben Laufzeit, sondern in einer Richtung, die senkrecht oder im Wesentlichen senkrecht zu Interferenzmustern der empfangenen Amplitudenwerte der Punktwellen der Außenfehler AF verläuft.

Durch die phasenstarre Addition der Amplitudenwerte längs einer Laufzeit können Fehlstellen allgemein erkannt werden, wobei jedoch eine Aussage darüber, ob es sich um einen Außenfehler oder einen Innenfehler handelt, aus dem Summensignal nicht ableitbar sind. Wie zuvor erläutert, können Außenfehler dadurch erkannt werden, indem eine Addition von Amplitudenwerten senkrecht oder im Wesentlichen senkrecht zu Interferenzmustern der von dem Außenfehler ausgehenden Punktwellen erfolgt. Durch eine Koinzidenzschaltung erfolgt schließlich ein Vergleich des bei der phasenstarken Addition der gespeicherten Amplitudenwerte längs einer Laufzeit ermittelten Signals mit dem bei der Addition der Amplitudenwerte der Interferenzmuster ermittelten Signal, wobei ein Außenfehler vorliegt, wenn beide Signale eine Fehlstelle anzeigen.

Zur Einstellung eines an die Messbedingungen, wie beispielsweise Fehlerart (Längsfehler, Schrägfehler), Materialbeschaffenheit sowie der Form des zu prüfenden Gegenstandes angepassten Einstrahlwinkels α können die einzelnen Sendeelemente des Phased Array Transducers zeitverzögert angesteuert werden (Phasing). Bei der Prüfung beispielsweise eines Rohres kann eine Einschallung in Abhängigkeit einer Fehlerlage (Schrägfehler, Längsfehler) wahlweise in Längsrichtung oder in Umfangsrichtung erfolgen.

Des Weiteren ist vorgesehen, dass zur Bestimmung des Fehlerortes eine laufzeitabhängige Amplitudenkorrektur des bei der Addition ermittelten Summensignals durchgeführt wird, wobei das empfangene Summensignal mit einem Referenzwert verglichen wird.

Zur weiteren Datenreduktion ist vorgesehen, dass die empfangenen Signale unmittelbar nach der Digitalisierung gefiltert werden vorzugsweise mittels eines Wavelet-Filters.

Das Problem wird durch eine Schaltungsanordnung gemäß den Merkmalen des kennzeichnenden Teils des Anspruchs 16 gelöst, wobei ein Summierer zur phasenstarken Addition der in dem Speicherbaustein hinterlegten Amplitudenwerte vorgesehen ist.

Des Weiteren bezieht sich die Erfindung auf ein Verfahren zur zerstörungsfreien Prüfung einer Kontur wie Kante, Biegung oder Krümmung eines Gegenstandes.

Nach dem Stand der Technik werden Konturen der oben genannten Art in Form von Kanten geprüft, indem diese mit einer im Wesentlichen planaren Wellenfront beschallt werden. Dabei wird ein im Wesentlichen der Kontur des zu prüfenden Gegenstandes entsprechendes Interferenzmuster empfangen, welches jedoch zur Auswertung auf Fehlstellen in der Struktur des Gegenstandes ungeeignet ist.

Davon ausgehend liegt der Erfindung das Problem zu Grunde, ein Verfahren zur zerstörungsfreien Prüfung von einer Kontur eines Gegenstandes mittels Ultraschallwellen zur Verfügung zu stellen, welches eine verbesserte Erkennung von Fehlstellen in der Struktur des Gegenstandes im Bereich der Kontur ermöglicht.

Zur Lösung des Problems wird vorgeschlagen, dass die Kontur einer Oberfläche des zu prüfenden Abschnittes des Gegenstandes erfasst und abgespeichert wird, dass die unabhängigen Sendeelemente derart zeitverzögert angesteuert werden, dass die ausgehende Wellenfront parallel oder in etwa parallel zu der Oberflächenkontur verläuft und dass die von dem Gegenstand reflektierten Wellen zeitverzögert empfangen werden und ein im Wesentlichen planares Interferenzmuster erzeugen.

Bei einer bevorzugten Verfahrensweise ist vorgesehen, dass die Kontur des Gegenstandes ermittelt wird, indem eine bezogen auf eine Senderebene planare Wellenfront auf die zu prüfende Kontur ausgesendet wird, dass die von der Kontur des Gegenstandes reflektierten Wellen mittels der Vielzahl voneinander unabhängigen Empfangselemente

empfangen, digitalisiert und die digitalisierten Signale zumindest nach ihrer Laufzeit in dem Speicherelement gespeichert werden und dass aus dem definierten Abstand A des Prüfkopfes zum Gegenstand und den unterschiedlichen Laufzeiten der empfangenen Signale die Kontur des Gegenstandes berechnet wird.

Das Verfahren zeichnet sich dadurch aus, dass durch zeitverzögerte Ansteuerung der unabhängigen Sendeelemente eine Wellenfront derart ausgesendet wird, dass diese parallel oder im Wesentlichen parallel zu einer Oberfläche der Struktur des zu prüfenden Gegenstandes verläuft.

Beim Empfangen der von der Kontur des Gegenstandes reflektierten Welle erfolgt ebenfalls ein zeitverzögerter Empfang mittels der ansteuerbaren Empfangselemente, wodurch Signale empfangen werden, welche ein parallel oder im Wesentlichen parallel zu der Oberfläche der Kontur des Gegenstandes verlaufendes Interferenzmuster erzeugen. In diesem Interferenzmuster können sodann Fehlstellen der Struktur des Gegenstandes auf einfache Weise ermittelt werden.

Aufgrund von Herstellungsschwankungen kann es in der Kontur des zu prüfenden Gegenstandes zu Unregelmäßigkeiten kommen, so dass gemäß einer weiter bevorzugten Verfahrensweise vorgesehen ist, dass die Kontur des Gegenstandes vorzugsweise online, d. h. während eines Messvorgangs ermittelt wird. Hierzu ist vorgesehen, dass eine planare Wellenfront auf die zu prüfende Kontur ausgesendet wird, dass die von der Kontur des Gegenstandes reflektierten Wellen mittels der Vielzahl voneinander unabhängigen Empfangselemente empfangen, digitalisiert und die digitalisierten Signale zumindest nach Laufzeit in einem Speicherelement in dem Speicherelement gespeichert werden und dass aus dem definierten Abstand des Prüfkopfes zum Gegenstand und den unterschiedlichen Laufzeiten der empfangenen Signale die Kontur des Gegenstandes berechnet wird.

Durch die Online-Nachführung bzw. Anpassung an die sich ändernde Kontur des Gegenstandes ist eine stets gleichwertige Auswertung auf Fehlerstellen möglich.

Die Nachführung wird ermöglicht, indem das empfangene parallel oder im Wesentlichen parallel zu der Kontur der Oberfläche des Gegenstandes verlaufende Interferenzmuster mit einem Sollmuster verglichen wird, wobei bei Abweichung des empfangenen Interferenzmusters von dem Sollmuster eine bezogen auf die Ebene der Sendeelemente parallele oder im Wesentlichen parallele Wellenfront ausgesendet wird, um die aktuelle Kontur des zu prüfenden Gegenstandes aus den reflektierten Wellen zu berechnen.

Weitere Einzelheiten, Vorteile und Merkmale der Erfindung ergeben sich nicht nur aus den Ansprüchen, den diesen zu entnehmenden Merkmalen - für sich und/oder in Kombination -, sondern auch aus der nachfolgenden Beschreibung eines der Zeichnung zu entnehmenden bevorzugten Ausführungsbeispiels.

Es zeigen:

- Fig. 1 eine schematische Darstellung einer von einem Prüfkopf (Phased Array Transducer) ausgehenden Wellenfront durch ein Medium wie Wasser auf einen zu prüfenden Gegenstand wie Stahlplatte,
- Fig. 2 eine Darstellung von Amplitudenwerten der von den einzelnen Empfangselementen EL1-ELN eines Prüfkopfes empfangener Amplituden mit unterschiedlichen Laufzeiten (typischer B-Scan),
- Fig. 3 eine Darstellung ausgewählter Strahlenwege der Ultraschallwellenfront gemäß Fig. 1,
- Fig. 4 eine Darstellung des Amplitudenverlaufs über die Laufzeit eines einzelnen Empfangselementes ELX gemäß Fig. 2,
- Fig. 5 eine Darstellung des Amplitudenverlaufs der Summen laufzeitgleicher Amplitudenwerte verschiedener Empfangselemente zur Auswertung einer Fehlerstelle,

- Fig. 6 einen prinzipiellen Messaufbau zur zerstörungsfreien Prüfung eines Rohres,
- Fig. 7 ein schematisches Blockschaltbild einer Schaltungsanordnung zur Verarbeitung der empfangenen Signale,
- Fig. 8 eine Prinzipdarstellung der Strahlenwege einer an der äußeren Oberfläche liegenden Fehlstelle,
- Fig. 9 eine Prinzipdarstellung der Strahlenwege einer an der inneren Oberfläche liegenden Fehlstelle,
- Fig. 10a eine schematische Darstellung einer von einem Prüfkopf ausgehenden Wellenfront zur Bestimmung der Kontur eines zu prüfenden Gegenstandes,
- Fig. 10b eine schematische Darstellung eines empfangenen Interferenzmusters (B SCAN) der Kontur des zu prüfenden Gegenstandes,
- Fig. 11a eine schematische Darstellung einer von dem Prüfkopf ausgehenden Wellenfront, welche parallel oder im Wesentlichen parallel zu der Oberfläche der Kontur des zu prüfenden Gegenstandes verläuft und
- Fig. 11b eine schematische Darstellung eines im Wesentlichen ebenen Interferenzmusters zur einfachen Auswertung von Fehlstellen.

Fig. 1 zeigt rein schematisch eine Anordnung 10 zur zerstörungsfreien Prüfung eines Gegenstandes 12, welche im dargestellten Ausführungsbeispiel als Stahlplatte dargestellt ist, mittels einer von einem Prüfkopf 14 ausgehenden Ultraschall-Wellenfront 16, welche durch ein flüssiges Medium 18 wie Wasser in den Gegenstand 12 eingekoppelt wird. Durch die Prüfung sollen Fehlstellen 20 in der Struktur des Gegenstandes 12 erfasst werden.

Der Prüfkopf 14 umfasst eine Vielzahl von Sende-/Empfangselementen EL1 bis ELN, die jeweils vorzugsweise gleichzeitig oder phasenversetzt als Sendeelemente und vorzugsweise gleichzeitig als Empfangselemente geschaltet werden.

Fig. 2 zeigt anhand eines Graustufenbildes einen üblichen B-Scan einer äußeren Fehlstelle eines ebenen Gegenstandes, welcher mit einem Phased Array Transducer unter einem Einstrahlwinkel von $\alpha = 18^\circ$ aufgenommen wurde. Die auf den Gegenstand 12 abgesendete Wellenfront wurde durch gleichzeitiges Einschalten sämtlicher Sendeelemente erzeugt.

Die einzelnen Empfangselemente EL1 – ELN sind über die horizontale Achse aufgetragen, wobei die von den einzelnen Empfangselementen empfangenen Signale entsprechend ihrer Laufzeit, die über eine vertikale Achse aufgetragen ist, in vertikaler Richtung nacheinander dargestellt sind.

Die Intensität der dargestellten Signale wird über ihre Helligkeit definiert. Aus dem B-Scan gemäß Fig. 2 ist zu erkennen, dass unterschiedliche Strukturen des Gegenstandes unterschiedliche Signalmuster erzeugen. So erzeugt die Oberfläche des Gegenstandes 12 Oberflächenechos OE, welche in Fig. 2 als schräg verlaufende durchgehende Linien dargestellt sind. Die den einzelnen Empfangselementen EL1 – ELN zugeordneten Fehlerechos FE1 – FE12, sind als horizontale Linien dargestellt. So werden beispielsweise von einem Empfangselement ELX die Fehlerechos FE1 bis FE4, und von weiter Empfangselementen ELX1, ELX2 die Fehlerechos FE5 bis FE8 bzw. die Fehlerechos FE 9 bis FE 12 dargestellt. Im oberen linken Bereich des B-Scans sind Interferenzechos IE erkennbar, die aufgrund von Interferenzen zwischen Wellenfronten der einzelnen Sendeelemente des Phase Array Transducers entstehen.

Der in Fig. 2 dargestellte B-Scan zeigt weiter, dass Fehlerechos mehrerer Empfangselemente, wie beispielsweise die Fehlerechos FE2, FE5 und FE3, FE6, FE9 sowie FE4, FE7 und FE10, zu jeweils gleichen Laufzeiten empfangen werden. Die gleichen Lauf-

zeiten beispielsweise der Fehlerechos FE2 und FE5 sowie Fehlerechos FE3 und FE6 sollen anhand der Fig. 3 erläutert werden.

In Fig. 3 ist der Aufbau gemäß Fig. 1 dargestellt, wobei Signalwege a bis i rein schematisch dargestellt sind. Die Dicke des Stahlbleches ist mit s bezeichnet und der Strahlengang innerhalb des Gegenstandes 12 mit t.

Es zeigt sich, dass sich die Laufzeit des Fehlerechos FE2 aus den Abschnitten $d + 2t + e$ und die Laufzeit des Fehlerechos FE5 aus den Abschnitten bzw. Laufzeiten $e + 2t + d$ jeweils zu einer identischen Laufzeit zusammensetzen. Ebenfalls sind die Laufzeiten des Fehlerechos FE3 und des Fehlerechos FE6 identisch, mit der Anmerkung, dass diese in unterschiedlichen Empfangselementen empfangen werden.

Die von einem Empfangselement ELX empfangenen Signale können ebenfalls in ihrer Amplitude über die Zeit dargestellt werden. Eine entsprechende Darstellung (A-Scan) ist in Fig. 4 gezeigt. Hierbei sind die einzelnen Echos OE, FE1 bis FE4 als Amplitudenausschläge zu unterschiedlichen Laufzeiten dargestellt. Gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren werden die Amplitudenwerte der zu gleichen Laufzeiten empfangenen Signale beispielsweise FE2 und FE5, FE3, FE6, FE9, bzw. FE4, FE7 und FE10 entlang ihrer Laufzeit addiert, wobei das in Fig. 5 über die Zeit dargestellte Signal erhalten wird, welches eine Information über die Feldstelle 20 in dem Gegenstand 12 sehr deutlich durch Amplitudenerhöhung im Bereich einer Größenordnung kennzeichnet.

Da die von verschiedenen Elementen ELX, ELX1 bzw. ELX2 empfangenen Fehlerechos die gleiche Laufzeit aufweisen, addieren sich die Amplitudenwerte, so dass das Summensignal steigt. Da die in den A-Scans gemäß Fig. 4 enthaltenen Rauschsignale sich gegenseitig stochastisch auslöschen, wird das Signal-Rausch-Verhältnis verbessert.

Fig. 6 zeigt einen Messaufbau 22 zur zerstörungsfreien Prüfung einer Rohrwandung 24 mittels entlang des Umfangs des Rohres angeordneter Prüfköpfe 26, 28, die eine entsprechend die eine an die Oberfläche des Rohres 24 angepasste, gekrümmte Oberfläche 30, 32, aufweisen, denen die Sende-/Empfangselemente EL1 bis ELN, wobei N bei-

spielsweise 128 beträgt, jedes Element Sende-/Empfangelement EL1-ELN kann sowohl als Sender als auch als Empfänger geschaltet werden. Die räumliche Ausdehnung eines Elementes wird an die verwendete Ultraschall-Frequenz f angepasst, welche im Bereich zwischen $0,2 \text{ MHz} \leq f \leq 20 \text{ MHz}$, vorzugsweise $f = 6 \text{ MHz}$ liegt.

Die Prüfköpfe 26, 28, die auch als Phased Array Transducer bezeichnet werden, sind über Datenleitungen 34, 36 jeweils mit einer ersten Signalverarbeitungseinheit 38, 40 verbunden, welche die Sende-/Empfangelemente EL der Prüfköpfe 26, 28 ansteuert und die empfangenen Signale verstärkt und digitalisiert. Die Signalverarbeitungseinheiten 38, 40 sind jeweils über eine Datenverbindung 42, 44, die beispielsweise als FSL (Fast Serial Link) ausgebildet ist, mit jeweils einer Signalauswertungseinheit 46, 48, verbunden. Des Weiteren umfasst die Schaltungsanordnung eine Schnittstelle 50 zur Verbindung mit einem externen Personal Computer 52 sowie eine Mikroprozessoreinheit 54 zur Verarbeitung und Auswertung (Sortieren, Markieren) der Informationen der Einheiten 46 und 48.

Fig. 7 zeigt ein detailliertes Blockschaltbild der Komponenten der Schaltungsanordnung 22 gemäß Fig. 6. Die Signalverarbeitungseinheit 38 umfasst eine Pulseinheit PE zur Ansteuerung der Sende-/Empfangelemente EL1 – EL128, die im vorliegenden Beispiel 128 Elemente umfassen. Dabei werden die Sendeelemente nach festem Zeitmuster (Phasing) angesteuert. Anschließend werden die Empfangselemente auf gleichzeitigen Empfang geschaltet und über einen Multiplexer MUX werden sodann die empfangenen Analogsignale entsprechenden A/D-Wandlern AD, im vorliegenden Beispiel jeweils auf 32 A/D-Wandler geleitet. Durch die A/D-Wandler AD werden die empfangenen Analogsignale digitalisiert und in einem Speicherelement SP als sogenanntes A-Bild bzw. A-Scan hinterlegt. Die in dem Speicherelement SP hinterlegten beispielsweise 32 A – Scans gemäß Fig. 4 werden sodann in einem Summierelement SUM erfindungsgemäß durch phasenstarre Addition der Amplitudenwerte zu dem in Fig. 5 dargestellten A-Scan entlang ihrer Laufzeit aufaddiert, wobei sich der Vorteil ergibt, dass sich die Amplitudenmaxima addieren, wodurch die Fehlstelle deutlich hervorgehoben wird und Rauschsignale gegenseitig aufgehoben werden.

Am Ausgang des Summierelementes SUM steht somit das in Fig. 5 dargestellte Signal als A-Scan zur Verfügung, das über ein Interface I der weiteren Signalauswertungseinrichtung 46 zugeführt wird, die ebenfalls ein Interface I aufweist. In der Signalauswertungseinrichtung 46 wird der B-Scan sodann ein oder mehreren Auswertebausteinen F1, F2 zur weiteren Signalverarbeitung zugeführt. Die Steuerung der einzelnen Komponenten der Schaltungseinheiten 38, 46 erfolgt über einen digitalen Signalprozessor DSP, welcher über einen Buskoppler BK und die Schnittstelle 50 mit dem Personal Computer 52 sowie mit der Mikroprozessoreinheit 54 verbunden ist. Die Ergebnisse der Signalverarbeitung werden auf einem Bildschirm dargestellt.

Um eine Datenreduktion vor Abspeicherung der an den A/D-Wandlern AD1 – AD32 anliegenden Signale zu erreichen, kann vorgesehen sein, dass diese vor Speicherung gefiltert, vorzugsweise Wavelet-gefiltert werden.

Das bisher beschriebene Verfahren dient allgemein zur schnellen und effektiven Erkennung von Fehlstellen in einem Gegenstand. Da bei der Summation der Amplitudenwerte entlang gleicher Laufzeiten die Ortsinformation der Fehlerstelle verloren geht, sind weitere Maßnahmen erforderlich, um eine Erkennung eines Außenfehlers zu ermöglichen. Hierzu wird vorgeschlagen, dass die von einem Außenfehler des Gegenstandes bei der Beschallung mit einer Ultraschallwelle reflektierten Punktwellensignale ausgewertet werden.

Fig. 8 zeigt rein schematisch die Strahlenwege bei einer Beschallung des Rohres 24, welches einen Fehlstelle AF in einer äußeren Oberfläche 56 aufweist. Fig. 9 zeigt die Strahlenwege bei Beschallung des Rohres 24, welches eine Fehlstelle IF an einer inneren Oberfläche 58 aufweist. Die von dem Außenfehler AF in Fig. 8 ausgehende Punktwellensignale sind ebenfalls in dem in Fig. 2 dargestellten B-Scan erkennbar, nämlich als Fehlerechos FE1 bis FE4 und deren Interferenzmuster. Zur Erkennung eines Außenfehlers kann eine „schräge“ Addition, d. h. nicht entlang einer bestimmten Laufzeit, sondern senkrecht oder in etwa senkrecht zu den Interferenzmustern der empfangenen Amplitudenwerte, so dass sich in dieser Richtung ein Amplitudenmaxima ergibt, das einen Hinweis auf einen Außenfehler AF enthält.

Um eine Aussage darüber zu treffen, ob ein Innen- oder Außenfehler vorliegt, erfolgt durch ein Koinzidenzverfahren beispielsweise in einem der Auswertebausteine F1, F2 eine Auswertung des Summensignals über die Amplitudenwerte gleicher Laufzeiten mit dem Summensignal der Amplitudenwerte in Richtung senkrecht oder in etwa senkrecht zu den Interferenzmustern der von den Punktwellensignalen empfangenen Amplitudenwerte, wobei dann ein Außenfehler vorliegt, wenn beide Signale eine Fehlerstelle zeigen. Sollte jedoch bei der phasenstarken Addition der Amplitudenwerte entlang einer Laufzeit eine Fehlerstelle erkannt werden, ohne dass jedoch eine Fehlerstelle bei der Addition der Amplitudenwerte senkrecht oder in etwa senkrecht zu den Interferenzmustern ermittelt wird, so liegt ein Innenfehler vor.

Als besondere Vorteile des erfindungsgemäßen Verfahrens sind zu erwähnen, dass die zur Auswertung der Fehlstellen erhaltenen Signale ein gegenüber dem Stand der Technik verbessertes Signal-Rausch-Verhältnis aufweisen und daher besser automatisch ausgewertet werden können. Durch die flächige Beschallung des zu prüfenden Gegenstandes aufgrund der Verwendung eines Prüfkopfes mit Phased Array – Technik, d. h. durch gleichzeitiges Aussenden einer Wellenfront und gleichzeitiges Einlesen der Signale wird ein erheblicher Zeitvorteil im Vergleich zu aus dem Stand der Technik bekannten Verfahren mit sequenzieller Technik erreicht.

Auch erfolgt durch die phasenstarke Addition eine Datenreduktion, so dass die anschließende Signalverarbeitung ebenfalls beschleunigt und vereinfacht wird.

Fig. 10a zeigt eine schematische Darstellung eines Prüfkopfes 60, der in seinem Aufbau dem weiter oben beschriebenen Prüfkopf 14 entspricht. Von dem Prüfkopf 60 wird eine parallel oder im Wesentlichen parallel zu einer von den Sendeelementen aufgespannten Ebene 62 verlaufende Wellenfront 64 ausgesendet. Die Wellenfront 64 trifft auf einen eine Kontur wie Kante, Biegung oder Krümmung aufweisenden Gegenstand 66 auf, der im vorliegenden Ausführungsbeispiel eine erste Fläche 68 aufweist, die gegenüber einer zweiten Fläche 70 in einem Winkel α verläuft.

Zur Bestimmung der Kontur des zu prüfenden Gegenstandes 60 werden die von den Oberflächen 68, 70 reflektierten Wellen empfangen, digitalisiert und in einem Speicherelement SP entsprechend der Schaltungsanordnung gemäß Fig. 7 gespeichert. Auf der Grundlage eines definierten Abstandes A von einem Referenzpunkt des Gegenstandes 66 und den ermittelten und gespeicherten Laufzeiten der Signale kann sodann die Kontur des Gegenstandes 66 errechnet werden. Ein entsprechendes Interferenzmuster (B-Scan) 72, welches im Wesentlichen der Kontur des Gegenstandes 66 entspricht, ist in Fig. 10 b dargestellt.

Ausgehend von der berechneten Kontur des Gegenstandes 66 werden sodann bei dem eigentlichen Messvorgang die Sendeelemente EL1-ELN derart zeitverzögert angesteuert, dass eine von dem Prüfkopf 60 ausgehende Wellenfront 74 parallel oder im Wesentlichen parallel zu der Kontur, d. h. den Oberflächen 68, 70 des zu prüfenden Gegenstandes 60 verläuft. Die von dem Gegenstand 66 reflektierten Wellen werden ebenfalls zeitversetzt empfangen und aus den so empfangenen Signalen ein in Fig. 11b dargestelltes Interferenzmuster 76 erzeugt, dessen Wellenfront in einer Ebene liegt.

Aus den Daten dieses Interferenzmusters können Fehlstellen auf einfache Weise entdeckt werden.

Um eine Anpassung an eine sich ändernde Kontur des Gegenstandes zu ermöglichen ist vorgesehen, dass das empfangene Interferenzmuster 76 mit einem Sollmuster verglichen wird und dass bei Abweichung des empfangenen Interferenzmusters 76 zu dem Sollmuster eine erneute Ermittlung der aktuellen Kontur des Gegenstandes 66 erfolgt, indem – auch während eines Messvorgangs – ausgehend von dem Prüfkopf 60 eine beispielsweise planare Wellenfront 64 auf den Gegenstand 66 abgesendet wird, um eine erneute Konturmessung vorzunehmen, die sodann der weiteren Messung zu Grunde gelegt wird.

Patentansprüche**Verfahren und Schaltungsanordnung zur zerstörungsfreien Prüfung von Gegenständen mittels Ultraschallwellen**

1. Verfahren zur Verarbeitung von Signalen, die bei der zerstörungsfreien Prüfung von Gegenständen (12, 24) wie Rohren oder Blechen durch Reflexion von Ultraschallwellen an Fehlstellen (20, AF) der Struktur des Gegenstandes (12, 24) erzeugt werden, umfassend die Verfahrensschritte:

- Aussenden einer kompletten Wellenfront auf zumindest einen zu prüfenden Abschnitt des Gegenstandes (12, 24) mittels einer Vielzahl unabhängiger Sendeelemente (EL1 – ELN),
- Empfangen einer von der Struktur des Gegenstandes reflektierten Welle mittels einer Vielzahl voneinander unabhängiger Empfangselemente (EL1 – ELN),
- Digitalisieren der von den Empfangselementen (EL1 – ELN) empfangenen Signalen,
- Speichern der digitalisierten Signale nach Amplitude und Laufzeit in einem Speicherelement (SP),

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

dass die Fehlstellen (20) durch eine phasenstarre Addition der gespeicherten Amplitudenwerte längs einer Laufzeit erkannt werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

dass zur Erkennung eines auf einer äußeren Oberfläche (54) des Gegenstandes (12, 24) liegenden Fehlstelle (Außenfehler) (20, AF) die von der Fehlstelle (20, AF) ausgehenden Punktwellensignale ausgewertet werden.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet,
dass die auf der äußeren, d. h. dem Prüfkopf (14, 26, 28) zugewandten Oberfläche des Gegenstandes (12, 24), liegende Fehlstelle (AF) durch eine Addition derjenigen in dem Speicherbaustein (SP) hinterlegten Amplitudenwerte erfolgt, welche von dem Außenfehler (AF) ausgehenden Punktwellensignale abgeleitet werden.
4. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Addition senkrecht oder im Wesentlichen Senkrecht zu Interferenzmustern der empfangenen Amplitudenwerte der Punktwellen der Außenfehler (AF) verläuft.
5. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass der Außenfehler (AF) durch Vergleich des bei der phasenstarren Addition der gespeicherten Amplitudenwerte längs einer Laufzeit ermittelten Summensignals mit dem bei der Addition der Amplitudenwerte der Interferenzmuster ermittelten Summensignal erfolgt, wobei ein Außenfehler (AF) vorliegt, wenn beide Summensignale eine Fehlstelle anzeigen (Koinzidenzverfahren).
6. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass die einzelnen Sendeelemente (EL1 – ELN) zur Einstellung eines an die Messbedingungen wie Fehlerart, Fehlergröße, Materialart, Materialform angepassten Einstrahlwinkels α zeitverzögert angesteuert werden (phasing).
7. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass zur Bestimmung des Fehlerortes eine laufzeitabhängige Amplitudenkorrektur des bei der Addition ermittelten Summensignals durchgeführt wird.

8. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass die empfangenen Signale nach ihrer Digitalisierung zur Dateneduktion gefiltert, vorzugsweise wavelet-gefiltert werden.
9. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Kontur einer Oberfläche (68, 70) des zu prüfenden Gegenstandes (12, 24, 66) erfasst und abgespeichert wird,
dass die unabhängigen Sendeelemente (EL1 – ELN) derart zeitverzögert angesteuert werden, dass die ausgehende Wellenfront (74) parallel oder in etwa parallel zu der Kontur der Oberfläche (68, 70) des Gegenstandes (66) verläuft und
dass die von dem Gegenstand (66) reflektierten Wellen zeitverzögert empfangen werden und ein im Wesentlichen planares Interferenzmuster (76) erzeugen.
10. Verfahren zur zerstörungsfreien Prüfung einer Kontur eines Gegenstandes (12, 24, 66) durch Verarbeitung von Signalwellen, die durch Reflexion von Ultraschallwellen an Fehlstellen (20, AF) der Struktur des Gegenstandes (12, 24) erzeugt werden, umfassend die Verfahrensschritte:
 - Aussenden einer kompletten Wellenfront auf die zumindest eine zu prüfende Kontur des Gegenstandes (12, 24, 66) mittels einer Vielzahl unabhängiger Sendeelemente (EL1 – ELN),
 - Empfangen einer von der Struktur des Gegenstandes reflektierten Welle mittels einer Vielzahl voneinander unabhängiger Empfangselemente (EL1 – ELN),
 - Digitalisieren der von den Empfangselementen (EL1 – ELN) empfangenen Signalen,
 - Speichern der digitalisierten Signale nach Amplitude und Laufzeit in einem Speicherelement (SP),

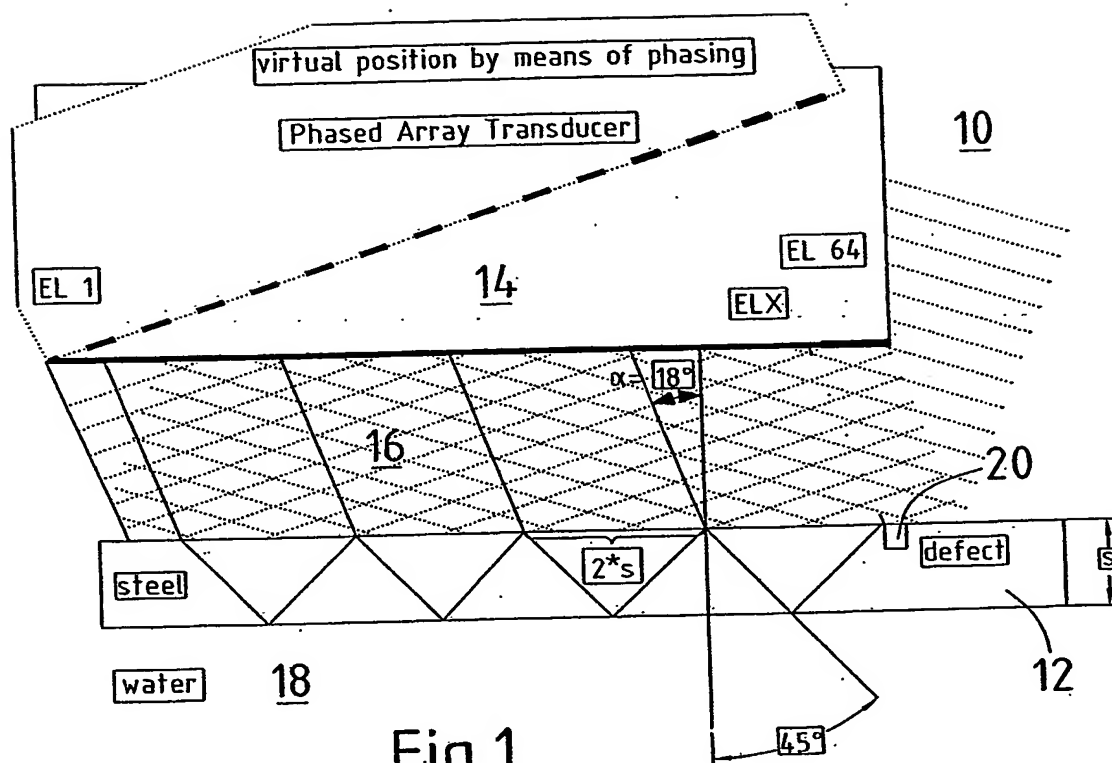
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass die Kontur einer Oberfläche (68, 70) des zu prüfenden Gegenstandes (12, 24, 66) erfasst und abgespeichert wird,
dass die unabhängigen Sendeelemente (EL1 – ELN) derart zeitverzögert angesteuert werden, dass die ausgehende Wellenfront (74) parallel oder in etwa parallel zu der Kontur der Oberfläche (68, 70) des Gegenstandes (66) verläuft und dass die von dem Gegenstand (66) reflektierten Wellen zeitverzögert empfangen werden und ein im Wesentlichen planares Interferenzmuster (76) erzeugen.

11. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass die Kontur des Gegenstandes (66) ermittelt wird, indem eine beispielsweise planare Wellenfront (64) auf die zu prüfende Kontur ausgesendet wird,
dass die von der Kontur des Gegenstandes (66) reflektierten Wellen mittels der Vielzahl voneinander unabhängigen Empfangselemente (EL1 – ELN) empfangen, digitalisiert und die digitalisierten Signale zumindest nach Laufzeit in dem Speicherelement (SP) gespeichert werden,
dass aus einem definierten Abstand (A) des Prüfkopfes zum Gegenstand (66) und den unterschiedlichen Laufzeiten der empfangenen Signale die Kontur des Gegenstandes berechnet wird.
12. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass ein aus den empfangenen Signalen ermitteltes Interferenzmuster (76) mit einem Sollmuster verglichen wird und dass bei einer Abweichung von dem Sollmuster eine erneute Konturmessung erfolgt.
13. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass eine Nachbestimmung der Kontur des zu prüfenden Gegenstandes während eines Messvorgangs erfolgt.

14. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass die parallel oder im Wesentlichen parallel zu der Kontur des zu prüfenden Gegenstandes (66) verlaufende Wellenfront (74) durch zeitverzögertes Aussenden von Schallimpulsen erzeugt wird.
15. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass das empfangene planare Interferenzmuster (76) durch zeitversetztes Ansteuern der voneinander unabhängigen Empfangselemente (EL1 – ELN) in Abhängigkeit von den in dem Speicher hinterlegten Konturwerten empfangen werden.
16. Schaltungsanordnung (22) zur Verarbeitung von Signalen, die bei der zerstörungsfreien Prüfung von Gegenständen wie Rohren, Blechen durch Reflexion von Ultraschallwellen an Fehlstellen der Struktur des Gegenstandes erzeugt werden, umfassend eine Signalerfassungseinheit (38) mit einem Pulserzeuger (PE) zum Ansteuern von Sende-/Empfangselemente (EL1 – ELN) zur Aussendung einer kompletten Wellenfront und zur Umschaltung der Sende-/Empfangselemente (EL1 - EL2) auf Empfang, wobei ein Multiplexer (MUX) vorgesehen ist, über den an dem Empfangselementen anliegende Analogsignale A/D-Wandlern (AD1 – ADN) zuleitbar sind, deren Ausgänge mit einem Speicherelement (SP) zur Speicherung digitalisierter Signale verbunden sind,
dadurch gekennzeichnet,
dass die digitalisierten Signale in dem Speicherelement (SP) bezüglich ihrer Signalamplitude und Laufzeit gespeichert sind und dass dem Speicherelement (SP) ein Summierelement (SUM) zur phasenstarken Addition der in dem Speicherelement (SP) hinterlegten Amplitudenwerte nachgeschaltet ist und dass an einem Ausgang der Summenschaltung (SUM) ein bezüglich der Fehlstelle (20) auswertbares Signal anliegt.

17. Schaltungsanordnung nach Anspruch 16,
dadurch gekennzeichnet,
dass der Ausgang des Summierelementes (SUM) vorzugsweise über ein Interface I mit einer Auswerteschaltung (46) verbunden ist, in der ein Ausgang des Summierelementes (SUM) mit einer Signalverarbeitungsschaltung (46) verbunden ist, welches ein oder mehrere Auswertebausteine (F1, F2) zur weiteren Bewertung und Auswertung des am Ausgang des Summierelementes (SUM) anliegenden Signals aufweist.
18. Schaltungsanordnung nach Anspruch 16 oder 17,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Auswertebausteine (F1, F2) eine Koinzidenzschaltung zum Vergleich der Summensignale bei phasenstarrer Addition der Amplitudenwerte längs einer Laufzeit mit den Summensignalen bei Addition der Amplitudenwerte der Punktwellensignale von Außenfehlern aufweist.
19. Schaltungsanordnung nach Anspruch 16 bis 18,
dadurch gekennzeichnet,
dass der Prüfkopf (14, 26, 28) als Phased Array Transducer ausgebildet ist.
20. Schaltungsanordnung nach Anspruch 16 bis 19,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Sende-/Empfangelemente (EL1 – ELN) gleichzeitig oder phasenverschoben (phasing) ansteuerbar sind
21. Schaltungsanordnung nach Anspruch 16 bis 20,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Sende-/Empfangelemente (EL1 – ELN) als eine Einheit ausgebildet sind.

22. Schaltungsanordnung nach Anspruch 16 bis 21,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Sendeelemente und Empfangselemente als getrennte Einheiten ausgebildet sind.



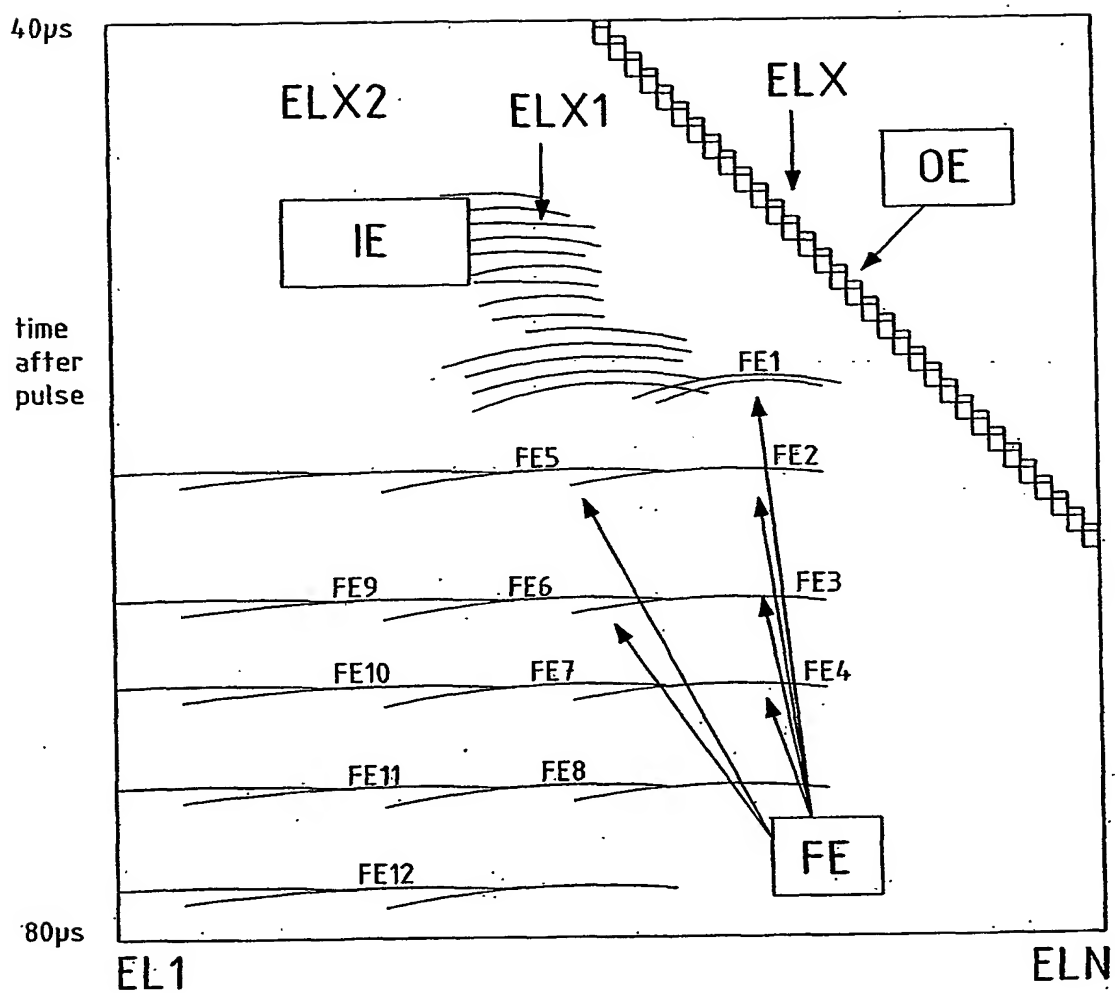
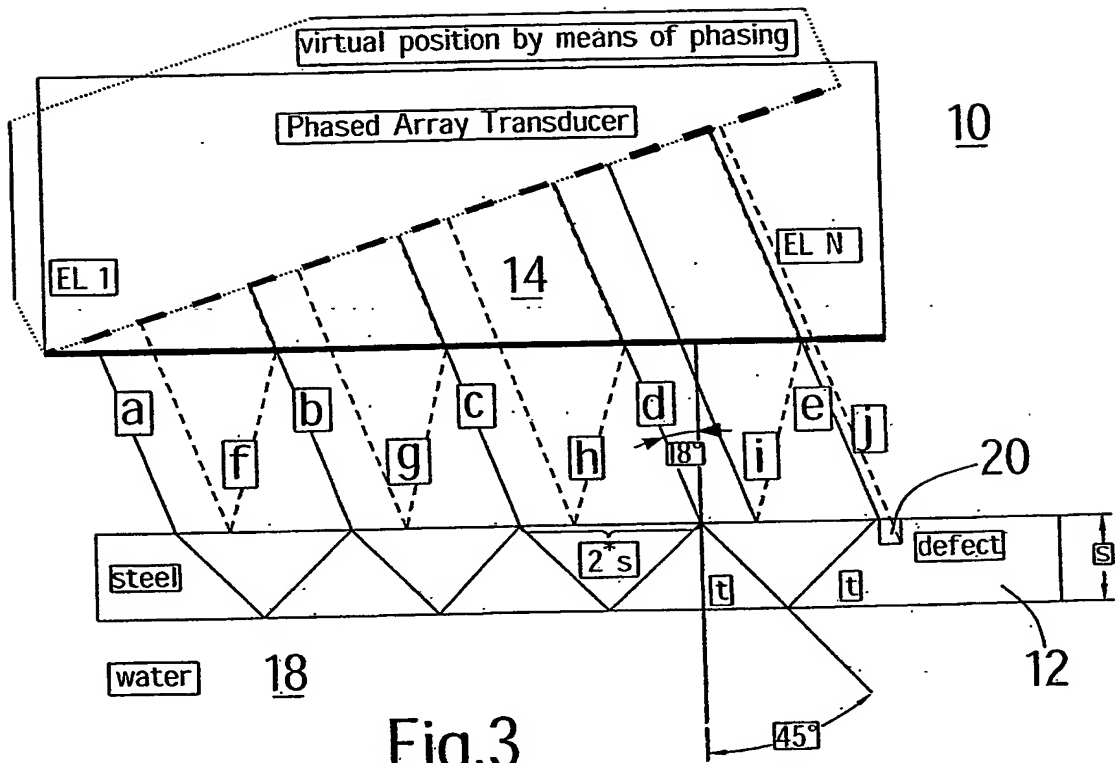


Fig.2



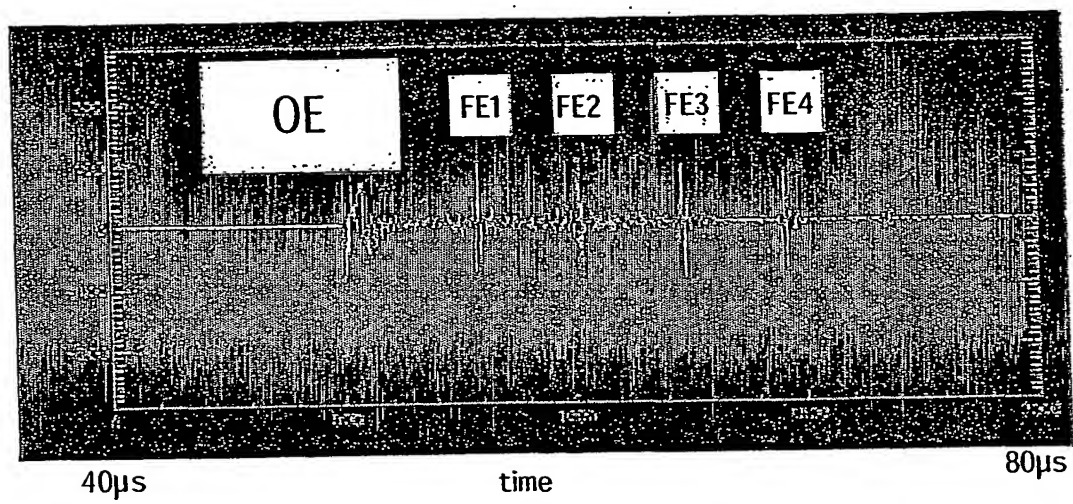


Fig.4

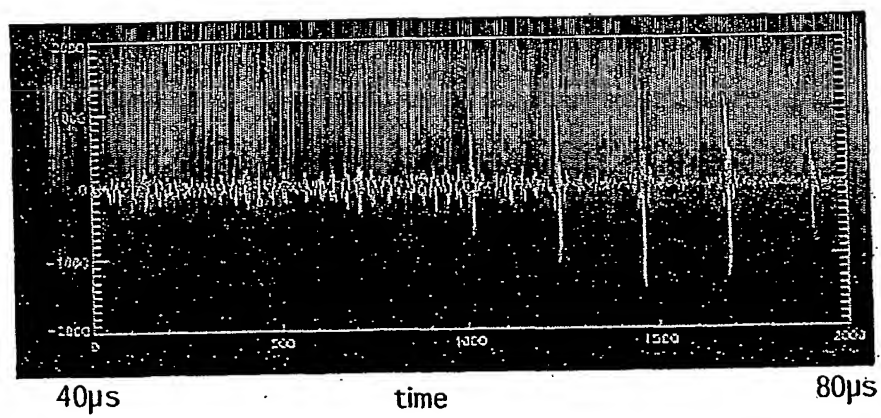


Fig.5

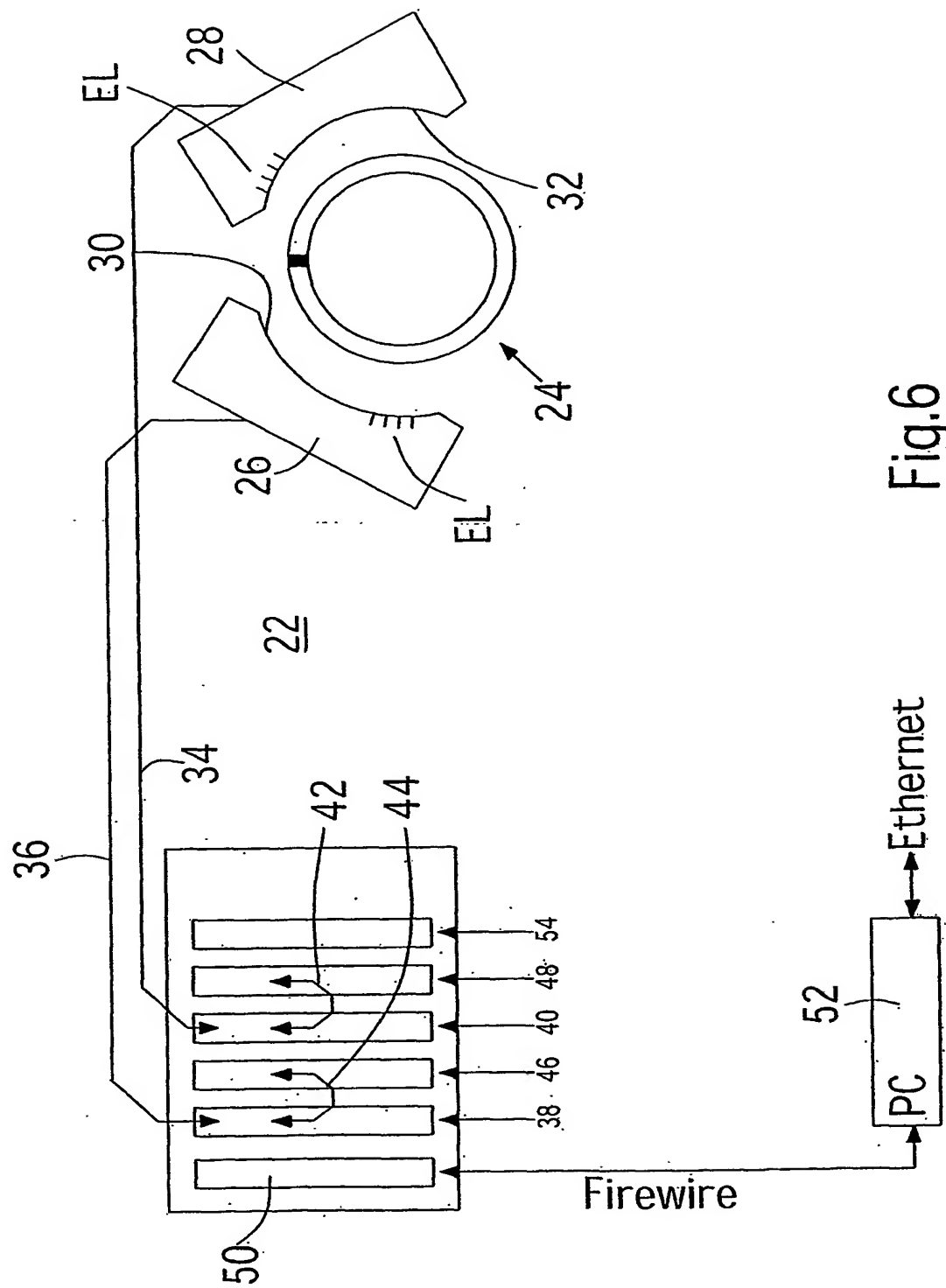


Fig. 6

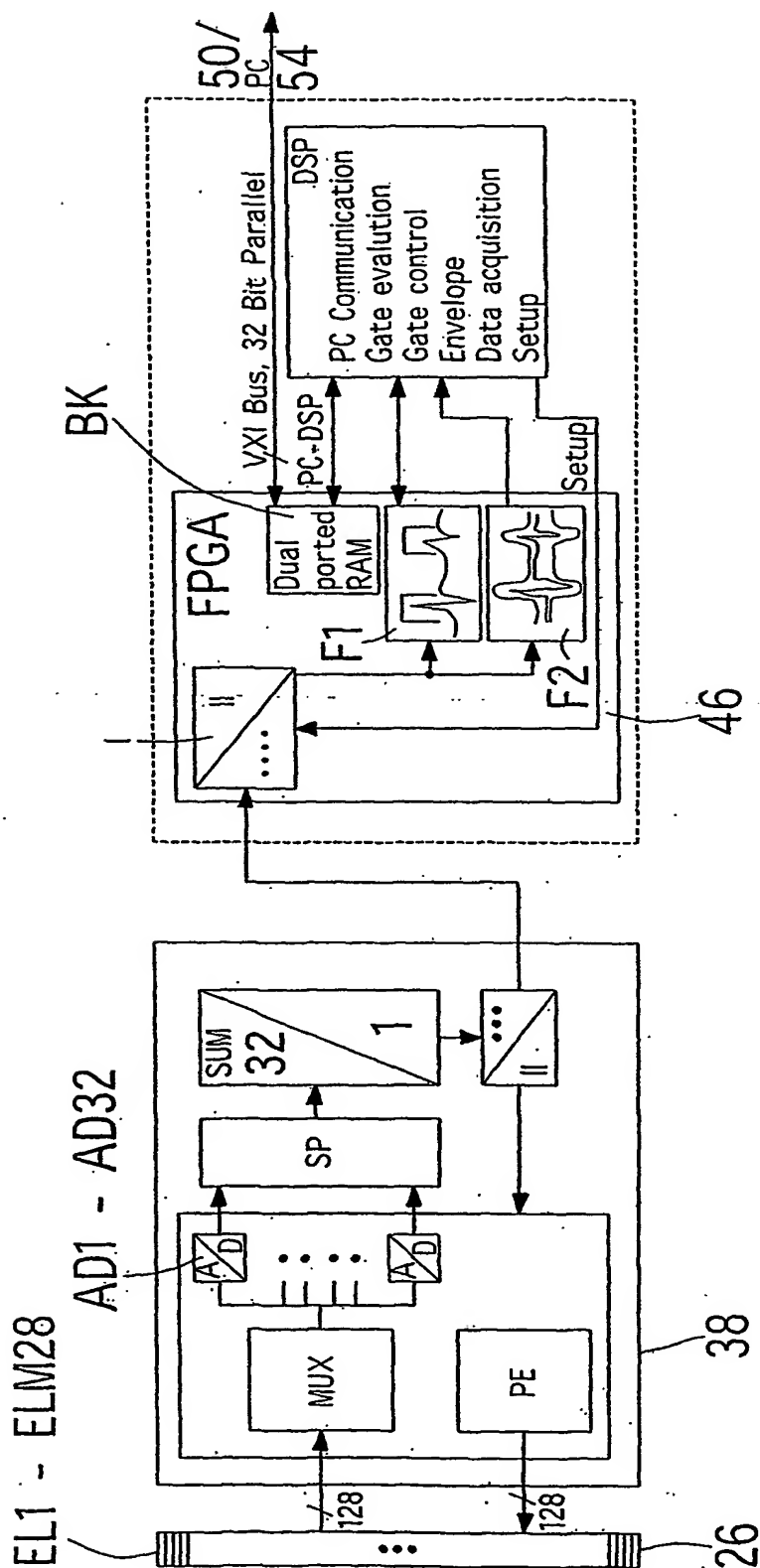


Fig. 7

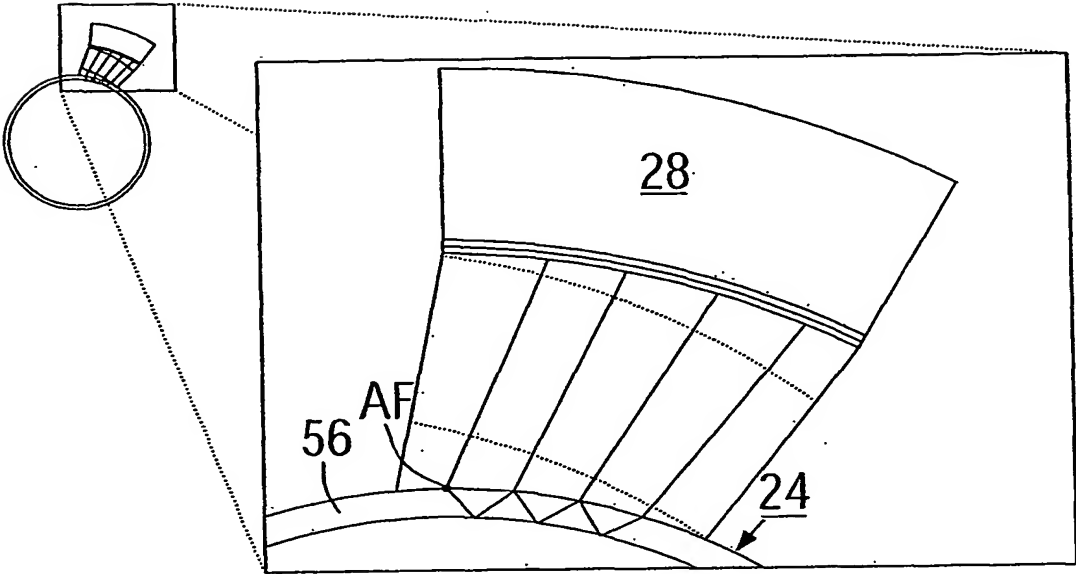


Fig.8

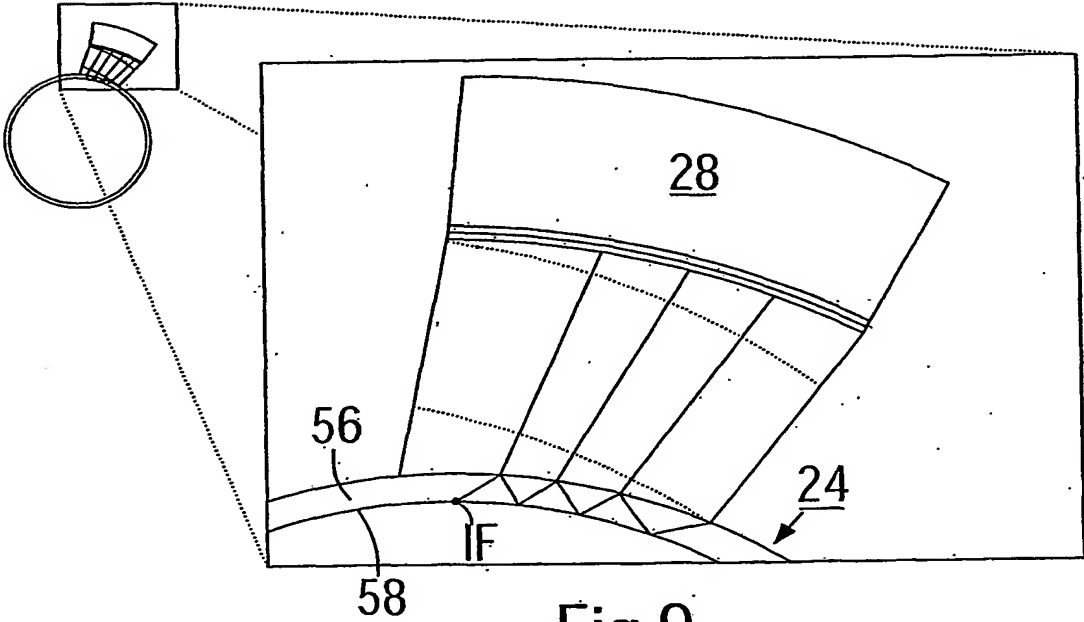
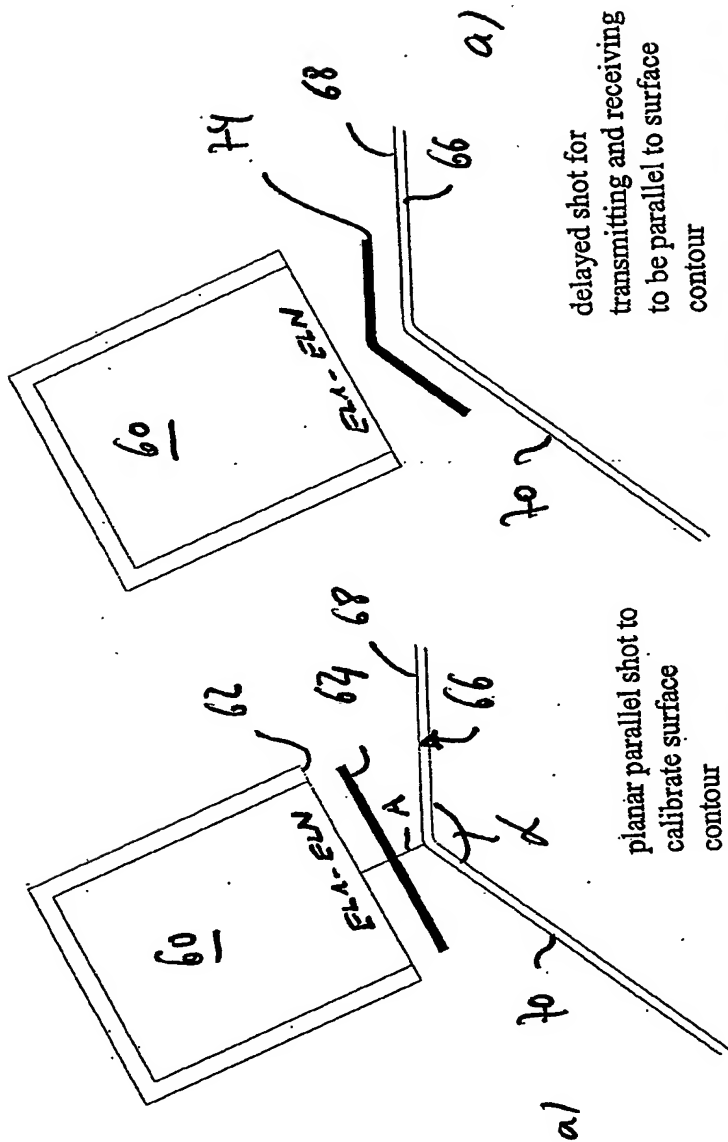


Fig.9



delayed shot for
transmitting and receiving
to be parallel to surface
contour

planar parallel shot to
calibrate surface
contour

Fig. 11

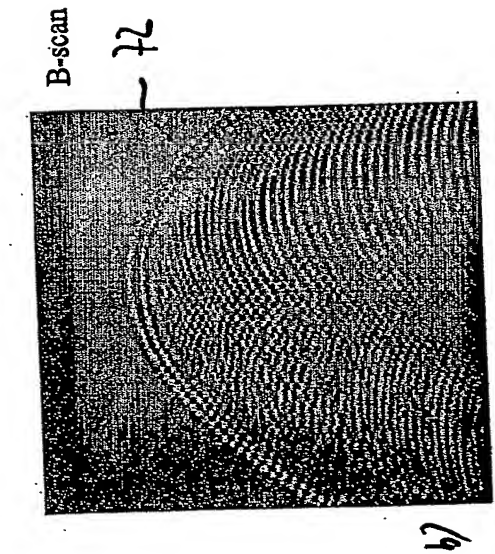
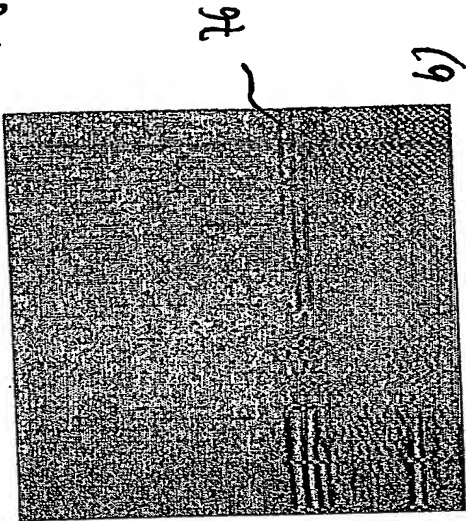


Fig. 12

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/EP2004/008048

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 G01S7/52 G01N29/10 G01N29/26 G01S15/89

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 G01S G01N

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ, INSPEC

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 32 36 017 A (FRAUNHOFER GES FORSCHUNG) 29 March 1984 (1984-03-29)	1-3, 6-14, 16, 17, 19-22
Y		15
A	abstract; figure 1 page 3, paragraph 2 - page 6, paragraph 3; claims 1,3-5 ----- -/-	4,5,18

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- *Z* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

3 December 2004

Date of mailing of the international search report

23/12/2004

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Reuss, T

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP2004/008048

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	<p>ROY O ET AL: "Control of the ultrasonic beam transmitted through an irregular profile using a smart flexible transducer: modelling and application" ULTRASONICS, IPC SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS LTD. GUILDFORD, GB, vol. 40, no. 1-8, May 2002 (2002-05), pages 243-246, XP004357202 ISSN: 0041-624X abstract; figures 1,2,7 page 243, right-hand column - page 244, right-hand column</p>	10-12,15
X	<p>MAHAUT S ET AL: "Development of phased array techniques to improve characterization of defect located in a component of complex geometry" ULTRASONICS, IPC SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS LTD. GUILDFORD, GB, vol. 40, no. 1-8, May 2002 (2002-05), pages 165-169, XP004357188 ISSN: 0041-624X</p>	10-12
Y	<p>abstract; figures 1-6 page 165, right-hand column - page 166, right-hand column, paragraph 1 page 167, left-hand column, paragraph 1 - page 169, right-hand column, paragraph 1</p>	15
X	<p>MAHAUT S ET AL: "An adaptive system for advanced NDT applications using phased arrays" ULTRASONICS, IPC SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS LTD. GUILDFORD, GB, vol. 36, no. 1-5, February 1998 (1998-02), pages 127-131, XP004119500 ISSN: 0041-624X the whole document</p>	10-12,15
A	<p>CASSEREAU D ET AL: "The phased array technology - application to time-reversal in acoustics" PHASED ARRAY SYSTEMS AND TECHNOLOGY, 2000. PROCEEDINGS. 2000 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON DANA POINT, CA, USA 21-25 MAY 2000, PISCATAWAY, NJ, USA, IEEE, US, 21 May 2000 (2000-05-21), pages 461-464, XP010504632 ISBN: 0-7803-6345-0 the whole document</p>	9,10
A	<p>EP 0 825 453 A (DORY JACQUES) 25 February 1998 (1998-02-25) cited in the application the whole document</p>	1-22

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP2004/008048

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 3236017	A	29-03-1984	DE 3236017 A1	29-03-1984
EP 0825453	A	25-02-1998	FR 2752461 A1	20-02-1998
			AT 203833 T	15-08-2001
			CA 2211419 A1	14-02-1998
			CN 1176386 A	18-03-1998
			DE 69705900 D1	06-09-2001
			DE 69705900 T2	04-04-2002
			EP 0825453 A1	25-02-1998
			ES 2162213 T3	16-12-2001
			JP 10123109 A	15-05-1998
			RU 2178880 C2	27-01-2002
			US 6023660 A	08-02-2000

INTERNATIONAL RESEARCH REPORT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2004/008048

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

IPK 7 G01S7/52 G01N29/10 G01N29/26 G01S15/89

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 G01S G01N

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der Internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ, INSPEC

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DE 32 36 017 A (FRAUNHOFER GES FORSCHUNG) 29. März 1984 (1984-03-29)	1-3, 6-14, 16, 17, 19-22
Y		15
A	Zusammenfassung; Abbildung 1 Seite 3, Absatz 2 - Seite 6, Absatz 3; Ansprüche 1,3-5 ----- -/--	4, 5, 18

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

E älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

L Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

O Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

P Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

Z Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der Internationalen Recherche

3. Dezember 2004

Absenddatum des Internationalen Recherchenberichts

23/12/2004

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Reuss, T

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	<p>ROY O ET AL: "Control of the ultrasonic beam transmitted through an irregular profile using a smart flexible transducer: modelling and application"</p> <p>ULTRASONICS, IPC SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS LTD. GUILDFORD, GB, Bd. 40, Nr. 1-8, Mai 2002 (2002-05), Seiten 243-246, XP004357202 ISSN: 0041-624X</p> <p>Zusammenfassung; Abbildungen 1,2,7 Seite 243, rechte Spalte - Seite 244, rechte Spalte</p>	10-12,15
X	<p>MAHAUT S ET AL: "Development of phased array techniques to improve characterization of defect located in a component of complex geometry"</p> <p>ULTRASONICS, IPC SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS LTD. GUILDFORD, GB, Bd. 40, Nr. 1-8, Mai 2002 (2002-05), Seiten 165-169, XP004357188 ISSN: 0041-624X</p>	10-12
Y	<p>Zusammenfassung; Abbildungen 1-6 Seite 165, rechte Spalte - Seite 166, rechte Spalte, Absatz 1 Seite 167, linke Spalte, Absatz 1 - Seite 169, rechte Spalte, Absatz 1</p>	15
X	<p>MAHAUT S ET AL: "An adaptive system for advanced NDT applications using phased arrays"</p> <p>ULTRASONICS, IPC SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS LTD. GUILDFORD, GB, Bd. 36, Nr. 1-5, Februar 1998 (1998-02), Seiten 127-131, XP004119500 ISSN: 0041-624X das ganze Dokument</p>	10-12,15
A	<p>CASSEREAU D ET AL: "The phased array technology - application to time-reversal in acoustics"</p> <p>PHASED ARRAY SYSTEMS AND TECHNOLOGY, 2000. PROCEEDINGS. 2000 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON DANA POINT, CA, USA 21-25 MAY 2000, PISCATAWAY, NJ, USA, IEEE, US, 21. Mai 2000 (2000-05-21), Seiten 461-464, XP010504632 ISBN: 0-7803-6345-0 das ganze Dokument</p>	9,10
A	<p>EP 0 825 453 A (DORY JACQUES) 25. Februar 1998 (1998-02-25) in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument</p>	1-22

INTERNATIONALE RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2004/008048

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
DE 3236017	A	29-03-1984	DE	3236017 A1	29-03-1984
EP 0825453	A	25-02-1998	FR	2752461 A1	20-02-1998
			AT	203833 T	15-08-2001
			CA	2211419 A1	14-02-1998
			CN	1176386 A	18-03-1998
			DE	69705900 D1	06-09-2001
			DE	69705900 T2	04-04-2002
			EP	0825453 A1	25-02-1998
			ES	2162213 T3	16-12-2001
			JP	10123109 A	15-05-1998
			RU	2178880 C2	27-01-2002
			US	6023660 A	08-02-2000